



**Universidade de Brasília**



**50** <sup>1962</sup>  
<sub>2012</sub>

Instituto de Ciências Humanas – IH

Departamento de Geografia – GEA

**Classificação automatizada de unidades de vegetação  
utilizando séries temporais de dados MODIS em  
Roraima (RR)**

Ricardo Eller Aranha

Orientador: Profº Dr. Osmar Abílio de Carvalho Júnior

Brasília, outubro de 2012.

RICARDO ELLER ARANHA

# Classificação automatizada de unidades de vegetação utilizando séries temporais de dados MODIS em Roraima (RR)

Monografia apresentada ao Departamento

de Geografia da UnB, para obtenção do

título de Bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Osmar Abílio de

Carvalho Júnior

BRASÍLIA

2012

INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

Classificação automatizada de unidades de vegetação utilizando séries temporais de dados MODIS em Roraima (RR)

Monografia de final de curso submetida ao Departamento de Geografia da  
Universidade de  
Brasília como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de bacharel  
em Geografia.

Aprovado por:

---

Profº. Dr. Osmar Abílio de Carvalho Júnior (UnB)  
(orientador)

---

Profº Dr. Renato Fontes Guimarães (UnB)  
(examinador)

---

Drª Potira Meirelles Hermuche  
(examinador)

Brasília- DF, 8 de outubro de 2012

ARANHA, R. E

Classificação automatizada de unidades de vegetação utilizando séries temporais de dados MODIS em Roraima (RR).

26 pags. (IH/GEA/UnB, Bacharelado, 2012)

Monografia de final de curso, Universidade de Brasília, Instituto de Ciências Humanas, Departamento de Geografia.

1. Sensoriamento Remoto

2. Processamento Digital de Imagens

3. Roraima

4. Séries Temporais de Imagens

1. IH/GEA/UnB

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRAFIA**

ARANHA, Ricardo Eller. Classificação automatizada de unidades de vegetação utilizando séries temporais de dados MODIS em Roraima (RR). Monografia de final de curso, Universidade de Brasília, Instituto de Ciências Humanas, Departamento de Geografia, DF, 2012.

## **CESSÃO DE DIREITOS AUTORAIS**

NOME DO AUTOR: RICARDO ELLER ARANHA

TÍTULO DA MONOGRAFIA: Classificação automatizada de unidades de vegetação utilizando séries temporais de dados MODIS em Roraima (RR).

GRAU – ANO: 3º/2012

## Resumo

O cerrado de Roraima se destaca no Brasil por ser o maior enclave dessa vegetação em meio a formações florestais amazônicas. Localmente é conhecido como Lavrado e tem importante papel ecológico na manutenção da diversidade de espécies. O presente trabalho buscou desenvolver e testar uma metodologia baseada na detecção de perfis espectrais de dinâmica sazonal das unidades fitofisionômicas presentes no Lavrado e nas redondezas. O banco de dados para análise foi construído utilizando séries temporais do sensor MODIS. As informações foram extraídas com base na reflectância dos alvos e comparadas com a delimitação de vegetação produzidas pelo PROBIO. Para a construção do banco de dados foi necessário realizar primeiramente uma separação da fração de ruídos da fração de sinal das séries de imagens. Os métodos utilizados para a filtragem foram: a filtragem por mediana de janela móvel e transformação MNF. A metodologia de classificação se mostrou eficiente e o resultado final se aproxima da delimitação realizada pelo PROBIO por meio da segmentação de imagens e interpretação visual.

**Palavras-chave:** MODIS, sensoriamento remoto, transformação MNF, Roraima, classificação não-supervisionada.

## 1.INTRODUÇÃO

Detectar padrões espaciais e temporais de maneira constante através das técnicas de sensoriamento remoto é um passo importante para o entendimento de dinâmicas específicas de um local. Porém para um bom aproveitamento das possibilidades oferecidas pelas ferramentas é importante testar e determinar a eficiência e acurácia das mesmas. A intenção dessa pesquisa é desenvolver e testar um método de análise baseado em séries temporais de imagens MODIS. Além disso, espera-se criar uma base de dados confiável para entender melhor a dinâmica territorial e natural da área de estudo.

Uma das grandes contribuições do sensoriamento remoto pode ser observada no trabalho de Townshend que argumenta: “A importante aplicação na informação precisa da cobertura global da superfície está na inferência de parâmetros, que influenciem, tanto nos processos biofísicos, quanto nas trocas de energia entre a atmosfera e a superfície terrestre” (TOWNSHEND et al, 1991). Sensores de alta resolução temporal se encaixam em estudos de variadas escalas e permitem observar e monitorar o planeta e/ou regiões específicas nos dando pistas e fundamentos para compreender as dinâmicas dos locais estudados.

O principal instrumento da presente pesquisa são os dados obtidos pelo satélite EOS AM-1 (TERRA), sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS). A partir destes serão construídos cubos temporais de imagens para a análise da eficiência do método e da qualidade do banco de dados produzido. Uma série temporal pode ser definida como uma sequência de observações ordenadas por tempo (ou espaço) (EASTON & McColl, 2012). A série é uma importante ferramenta para detectar padrões de comportamento e fazer projeções do comportamento futuro. Os dados utilizados na presente pesquisa são compostos por quatro dimensões: as duas primeiras dimensões são dadas pelas coordenadas geográficas, a terceira pelo comportamento espectral e a quarta estabelecida pelo tempo.

O sensor MODIS tem sido utilizado em diversas pesquisas como base para análises devido a multiplicidade de possibilidades conferidas pela variedade de tipos e qualidades de dados, mas até o momento ainda de maneira modesta quanto a resolução temporal. A contribuição deste trabalho é a de tentar abarcar um volume grande de imagens na formação do banco de dados e observar se os resultados se aproximam da realidade.

## 1.1 Área de estudo

O Estado de Roraima, localizado no extremo norte da região amazônica, possui o maior fragmento de Cerrado em meio a formações florestais. Localmente esse fragmento é denominado lavrado. O termo deriva da língua portuguesa arcaica, mas pode ser encontrada nos dicionários atuais, significando um “... *local onde as árvores estão ausentes*” (Vanzolini and Carvalho 1991). O lavrado se manifesta como um ecossistema de características únicas, sem semelhante no país, com importante papel na conservação dos recursos naturais. Outras classificações para esse ecossistema são as de formações savânicas ou cerrado. A fitofisionomia do lavrado forma juntamente com formações florestais mosaicos de paisagem híbrida, o que se explica como consequência de variações climáticas ocorridas no Quaternário que proporcionaram alternâncias sucessivas de clima seco e úmido correlacionados aos períodos interglacial e glacial (VANZOLINI & WILLIAMS, 1970, AB’SABER, 1982 e GRANVILLE, 1989).

### \*\*\* Figura 1

Carneiro Filho (1983) argumenta que a presença dos Cerrados em Roraima apresenta dificuldades para ser explicada pelos aspectos físico-químicos do solo, destacando as seguintes evidências: (a) couraças lateríticas em diversos compartimentos da paisagem; (b) superfícies erosivas, recobertas por pavimento de laterita e quartzo leitoso, recobrindo tanto os solos sob Cerrados como sob Floresta, (c) perfis poligenéticos marcados por linhas de pedra e (d) solos similares sob Floresta e Cerrado. Essas características locais sugerem ao autor duas situações: (a) florestas atualmente ocupando antigos espaços de Cerrado e (b) Cerrados ocupando antigos espaços de Floresta.



A escolha dessa área específica se justifica pela dinâmica antrópica relativamente baixa e pela grande proximidade com a linha do equador. A baixa ocorrência de construções humanas confere um sinal mais “limpo” para ser captado pelos instrumentos e a dinâmica climática com muitas nuvens durante todo o ano competem um grande número de nuvens (já que a área se encontra no cinturão de nuvens da zona de convergência intertropical – ZCIT) que agem como ruídos na captação, o que é interessante para por à prova a filtragem das imagens.



## **2. Materiais e Métodos**

### **2.1 Sensor MODIS**

O MODIS é um dos instrumentos chave a bordo dos satélites TERRA (EOS AM) e AQUA (EOS PM). Os dois satélites visualizam e adquirem dados sobre o planeta inteiro, obtendo material para análise em 36 bandas espectrais. Os dois satélites se diferem por especificidades instrumentais e de concentração na obtenção dos dados, o TERRA se concentra em obtenções de dados nas porções continentais e o AQUA tem seus instrumentos direcionados para porções de água. Nessa pesquisa, será utilizado o material do TERRA , já que a área de estudo se encontra em porções continentais. As imagens geradas por este sensor são gratuitamente disponibilizadas pela agência norte-americana *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e possuem alta resolução temporal que varia de 1 a 16 dias (JUSTICE et al., 1998). São oferecidas imagens corrigidas dos ruídos atmosféricos (nuvens, aerossóis, etc.) e georreferenciadas (TELLES et al., 1995, WOLF et al., 2002). As principais características do sensor MODIS são (BARKER et al., 1992): (a) ampla cobertura espacial e espectral; (b) continuidade nas tomadas de medidas, em faixas espectrais mais estreitas que as disponíveis em outros sistemas sensores até o momento, e (c) ser a primeira ferramenta dos satélites EOS na condução em pesquisas de mudanças globais. O produto escolhido para a confecção do cubo é resultado da combinação de um intervalo de 8 dias de obtenção, formando uma imagem com os melhores pixels.

Os procedimentos adotados para o processamento das imagens em busca dos resultados pode ser subdividida nas seguintes etapas: (A) confecção de um cubo 4D (eixos “x” e “y” dados pelas coordenadas da imagem, o eixo “z” representando o tempo

e um quarto eixo “w” sendo o comportamento espectral ) relativo à série de imagens temporais, (B) tratamento do ruído e (C) classificação automatizada utilizando os espectros identificadas. As imagens utilizadas na pesquisa correspondem ao intervalo entre 2000 e 2010. Na confecção dos cubos foram utilizadas 4464 imagens.

### **A - Confecção do cubo**

O produto utilizado para a confecção do cubo teve que primeiramente ser adequado quanto ao tamanho do pixel. Os produtos escolhidos para a formação do banco de dados diferiam em tamanho. Duas bandas do produto possuíam o pixel de 250 m e sete possuíam o pixel no tamanho de 500 m. A adequação realizada foi redimensionar o pixel de 250 m para 500m, totalizando nove bandas de obtenção com 500m. Feito isso, as imagens foram empilhadas por banda para passarem pelo tratamento de ruído. Os cubos separados por banda tinham 499 imagens aproximadamente.

### **\*\*\* Figura 2**

### **B - Tratamento de ruído**

Parte fundamental na construção de qualquer banco de dados com imagens provenientes de sistemas orbitais é atenuar ou eliminar a interferência de ruídos que prejudiquem a qualidade dos dados. O tratamento de ruídos é importantíssimo para garantir um resultado confiável. Existem vários processos de filtragem desses ruídos buscando os valores aberrantes nos perfis espectrais. Valores extremos, tanto para mais quanto para menos, são assumidos como ruído, dadas as características de baixa variância assumidas como corretas no recorte espacial, dada a baixa atividade antrópica

e o tamanho do *pixel* (250m e 500m reamostrado via MRT para 250m). A partir da eliminação do ruído no cubo é possível conseguir resultados mais próximos do real no processo de identificação dos perfis espectrais no conjunto dos dados.

### **B.1 Filtragem por mediana**

O Filtro de mediana com janela móvel é uma transformação largamente utilizada para suavizar ruídos do tipo impulso. A filtragem é realizada utilizando a lógica de vizinhança onde o valor de um pixel é substituído pela mediana dos pixels da sua vizinhança. A utilização de filtros de mediana como passo intermediário a transformação MNF reduz o tempo de processamento por dar um corpo de dados com uma variância menor.

### **B.2 Transformação MNF**

A transformação MNF (em português: FRM, Fração de Ruído Mínima) é um método matemático derivado da Análise de Componentes Principais (APC). A diferenciação entre os dois métodos se dá no critério para a geração das componentes. A transformação MNF usa como base a maximização do ruído ao invés da variância dos dados usada na APC. Essa transformação concilia tanto os procedimentos de segregação da componente ruído como também de redução da *dimensionalidade* dos dados, configurando-se uma importante etapa no processamento digital para a identificação dos membros finais de uma imagem (aumento da relação sinal/ruído), pois promovem uma brutal redução no esforço computacional exigido num típico processamento de imagens hiperespectrais.

A transformação agrega e ordena os dados de acordo com o nível de significância, agrupando no início do conjunto de bandas as porções do espectro identificadas como sinal, sendo que as bandas em sequência representam os sinais mais degradados. Tipicamente 10% do espectro tratado com a transformação MNF contém informação.

O conceito de *dimensionalidade* é atribuído ao número de atributos de uma representação de padrões, ou seja, a dimensão do espaço de características. As duas principais razões para que a dimensionalidade seja a menor possível são: custo de medição e precisão do classificador. Quando o espaço de características contém somente as características mais salientes, o classificador será mais rápido e ocupará menos memória. O que é especialmente útil neste trabalho devido ao grande volume de dados processados.

Após o emprego da transformação linear MNF efetua-se a separação da fração ruído do sinal. Como as imagens estão ordenadas de acordo com a qualidade, torna-se fácil realizar essa separação. A separação é realizada através da análise do gráfico de autovalores, em que as frações de sinal e ruído podem ser distinguidas a partir do ponto de inflexão do gráfico.

Normalmente nos trabalhos com a transformação MNF realiza-se o processo de inversão da transformação. O processo se resume na redistribuição do sinal concentrado nas primeiras bandas pelo número original de bandas. As imagens geradas com o processo de inversão apresentam espectros límpidos de ruído.

## **C - Classificação espectral**

Obtendo os cubos de cada banda límpidos de ruídos realizou-se um novo empilhamento dos cubos utilizando apenas as 10 primeiras bandas de cada cubo de banda do resultante do MNF. Feito isso, realizou-se a transformação APC (análise das principais componentes), pois por problemas de corrupção nos arquivos não foi possível realizar a transformação MNF. A partir desse resultado foi realizada a classificação não supervisionada pelo método k vizinhos mais próximos (ou k-means). A intenção ao utilizar a transformação era a de maximizar o sinal das bandas em um grande cubo.

### **2.2 Base para comparação do resultado**

A base escolhida para a comparação do resultado foi a de vegetação gerada pelo Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – PROBIO I. As tipologias de vegetação nativa e a ocupação antrópica no bioma foram levantados por meio da interpretação visual de 198 imagens Landsat (58% de 2002), em um banco de dados georreferenciado, utilizando o aplicativo Spring. Para interpretação das imagens foi elaborada uma chave de interpretação, onde a tipologia de uso e de vegetação foi associada às características fotointerpretativas dessas (MMA, 2002).

### **3. Resultados**

#### **3.1. Tratamento do Ruído**

No tratamento do banco de dados foi utilizado o filtro de mediana com a janela móvel 3 por 3. Foram testados vários tamanhos, e por tentativa e erro esse tamanho da janela foi a opção por apresentar melhor resultado visual e espectral nos testes em vários tamanhos de janela. Outros tamanhos maiores suavizaram demais o cubo, inviabilizando a análise. A filtragem por mediana eliminou eficientemente os ruídos tipo impulso.

#### **\*\*\* Figura 3**

A filtragem resultou em um espectro mais suavizado, retirando boa parte dos ruídos que distorciam os dados. A grande vantagem da filtragem na realização da pesquisa foi de que houve expressiva melhoria visual, facilitando a interpretação da imagem.

#### **\*\*\* Figura 4**

O interessante é que como o filtro de mediana suaviza os valores mais aberrantes, a amplitude do espectro se torna muito menor, o que facilita e potencializa a transformação MNF. A transformação MNF executada em sequencia eliminou o ruído branco, obtendo assim um novo cubo referente a cada banda em que se observou a concentração de sinal com a minimização dos ruídos nas bandas de maneira gradual e ordenada, o que pode ser observado na figura 4. A quantidade de ruído aumenta conforme se avança no sequencial das imagens.



### **3.2 Análise dos autovalores**

#### **\*\*\* Figura 5**

O gráfico de autovalores de cada cubo apresentou resultados diferentes, a inflexão ocorreu em pontos diferentes do gráfico, sendo o menor ponto de inflexão na banda 11 e a maior na banda 13. Provavelmente essa diferença ocorreu pela diferença no tamanho dos cubos. Tendo isso em vista, optou-se por utilizar as 10 primeiras componentes de cada banda espectral para garantir que a classificação teria apenas a informação concernente ao sinal. Utilizar as primeiras componentes foi também uma escolha realizada tendo em vista o tempo para a execução da pesquisa que demanda um grande esforço computacional.

### **3.3 Classificação por k-means**

Feito isso, deu-se prosseguimento para a classificação k-means baseada nos valores de reflectância, o número de iterações e número de classes foram definidas por tentativa e erro. O melhor resultado em relação à base de comparação obtida no PROBIO foi de 3 iterações com 9 classes. A avaliação foi qualitativa e puramente visual por não haver tempo hábil suficiente para realizar outro tipo. O resultado se verifica na figura 6. O resultado foi comparado com o mapa de vegetação PROBIO e mostrou-se similar, evidenciando as grandes unidades da vegetação, em escala regional. A partir das classes foi possível descrever cada curva temporal das diferentes unidades de vegetação. Classes identificadas: Savanas: Gramíneo-Lenhosa, Parque e Arborizada; Fl.

Ombrófila Submontana: Aberta e Fechada; Fl. Estacional; Refúgio Montano; Campinarana e Agricultura.

**\*\*\*Figura 6 e 7**

#### **4. Conclusão**

No trabalho foi desenvolvida e testada uma metodologia para detectar os diferentes perfis espectrais das macrounidades de vegetação de Roraima utilizando técnicas de processamento digital de imagens de séries temporais. A metodologia adotada buscou definir perfis espectrais e temporais tendo como base uma série longa de imagens em um intervalo de tempo de 10 anos.

Um dos principais problemas presentes nas séries temporais de sensores remotos é a interferência de ruídos causados pelo cinturão de nuvens presentes em toda a região equatorial. Esse tipo de ruído é um dos grandes problemas no monitoramento de áreas. O tratamento de ruído utilizando a combinação das técnicas de filtragem de mediana e transformação MNF apresentou bons resultados. A limpeza por esses métodos permitiu definir perfis espectrais das unidades de vegetação na área de estudo.

A classificação utilizando as imagens relativas às frações de sinal permitiu uma redução de processamento utilizando todo o conjunto de informações disponíveis. O resultado é similar ao descrito pelo mapeamento realizado pelo PROBIO. O que é especialmente interessante já que a base de comparação foi produzida com sensores de maior resolução espacial e por interpretação visual. As assinaturas espectrais apresentam padrões sazonais específicos para o Cerrado e a Floresta mostrando-se eficaz para descrever regionalmente os grandes blocos. Um processo automatizado pode

poupar tempo em atividades de gestão e monitoramento, o que com certeza pode melhorar a detecção de mudanças em um local tão visado para fins de conservação.

O procedimento tem várias possíveis implicações podendo servir de apoio para uma variada gama de estudos relacionados a vegetação e dinâmicas territoriais.

A grande dificuldade em toda a realização da pesquisa deu-se pela magnitude do banco de dados, todos os procedimentos realizados tomavam uma grande quantidade de o tempo. Acreditamos que a metodologia ainda precisa de ajustes e parâmetros para comparações dos resultados mais confiáveis. Mas mesmo com todos os percalços, dificuldades e constantes reajustes de processamentos, os resultados são animadores.

## Referências Bibliográficas

AB'SABER, A. N. **Espaços ocupados pela expansão dos climas secos na América do Sul, por ocasião dos períodos glaciais quaternários.** Paleoclimas, no. 3, Instituto de Geografia, USP; São Paulo, 1977.

BARBOSA, R.I.; CAMPOS, C.; PINTO, F.; FEARNSIDE, P.M. 2007. **The "Lavrados" of Roraima: Biodiversity and Conservation of Brazil's Amazonian Savannas.** Functional Ecosystems and Communities, 1(1): 29-41.

BARKER, J.L., HARDEN, M.K., ANUTA, E. A., SMID, J. E., HOUGHT, D. **MODIS Spectral Sensitivity Study: Requirements and Characterization.** October, 84p. 1992.

CARNEIRO FILHO, A. **Cerrados amazônicos: fósseis vivos? Algumas reflexões.** In: Revista do IG, São Paulo, V.14 N° 1 p. 63-68. 1993.

DE CAMPOS, T. E. Universidade de São Paulo, USP, Brasil. **Técnicas de Seleção de Características e de Classificação para Reconhecimento de Faces,** 2001.

<http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?id=K4709306D6>

EASTON, VALERIE J. , MCCOLL, JOHN H. **Statistics Glossary: Time Series Data**

[http://www.stats.gla.ac.uk/steps/glossary/time\\_series.html](http://www.stats.gla.ac.uk/steps/glossary/time_series.html)

GRANVILLE, J.J. **Rain Forest and xeric flora refuges in French Guiana.** In: **Biological diversification in tropics.** Guillean T. Prance, Columbia University Press, N.Y., p. 159-181.1982.

HUETE A, DIDAN K, MIURA T, RODRIGUEZ P, GAO X. & FERREIRA L.G. **Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices.** In: Remote Sensing of Environment, V.83 p. 195-213.2002.

JUSTICE, C O.; VERMOTE, E., TOWNSHEND, J. R. G.; DEFRIES, R.;ROY, P. D; HALL, D.K, SALOMONSON, V.;E, PRIVETTE, J.L.; RIGGS, G.; STRAHLER, A.; LUCHT, W.; MYNENI, R. B; KNYAZIKHIN, Y.; RUNNING, S.W.; NEMANI, R. R.; WAN, Z.; HUETE, A. R.; LEEUWEN, W. V.; WOLFE, R. E.; GIGLIO, L.; MULLER, J. P;E.;LEWIS, P.; BARNESLEY, M. **The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research.** In: IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, V. 36 N° 4 p. 1228-1247.1998.

LATORRE, M.L.; ANDERSON, L.O.; SHIMABUKURO, Y. E.; JUNIOR, O.A.C. **Sensor MODIS: Características Gerais e Aplicações. In:** Revista Espaço e Geografia, V. 6, Nº1, p. 91-121. Brasília, 2003.

MMA. **Mapa de cobertura Vegetal.** In:  
<http://www.mma.gov.br/biomas/amaz%C3%B4nia/mapa-de-cobertura-vegetal> Acesso em: 25/08/2012.

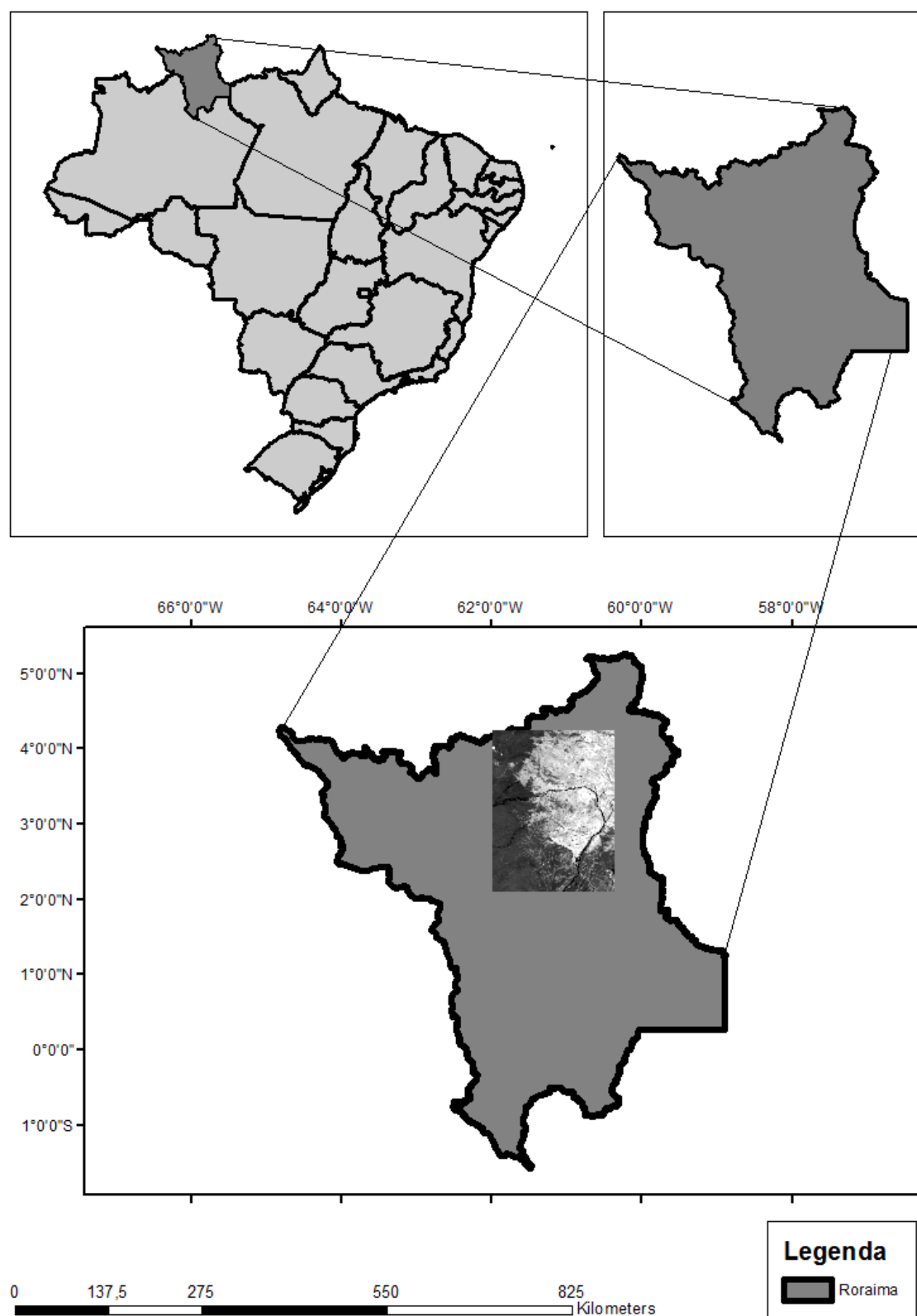
TELLES J, SAMII MV & DOLL CE. **Overview of TDRSS. In:** Advances in Space Research, Vol 16 p 1267-1276. 1995.

TOWNSHEND, J. R. G., JUSTICE, C., LI, W.; GURNEY, C.; MCMANUS, J. **Global land cover classification by remote sensing: Present capabilities and future possibilities. In:** Remote Sensing of Environment. V. 35, p.243–255. 1991.

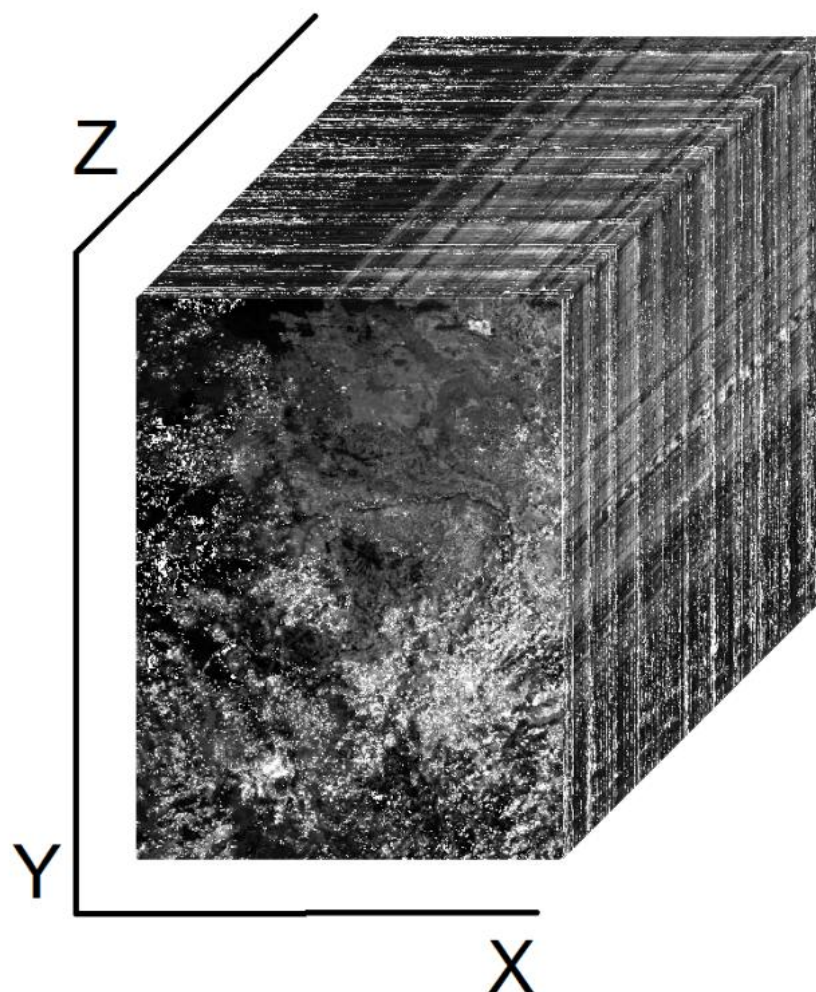
Vanzolini PE, Carvalho CM 1991 Two sibling and sympatric species of *Gymnophthalmus* in Roraima, Brasil (Sauria, Teiidae). *Papéis Avulsos de Zoologia* 37(12): 173-226

VANZOLINI, P.E. & WILLIAMS, E.E. **South American anoles: geographic differentiation and evolution of the *Anolis chrysolepis* species group (Sauria, Iguanidae).** Arq. Zool. São Paulo 19, p.1-259. São Paulo, 1970.

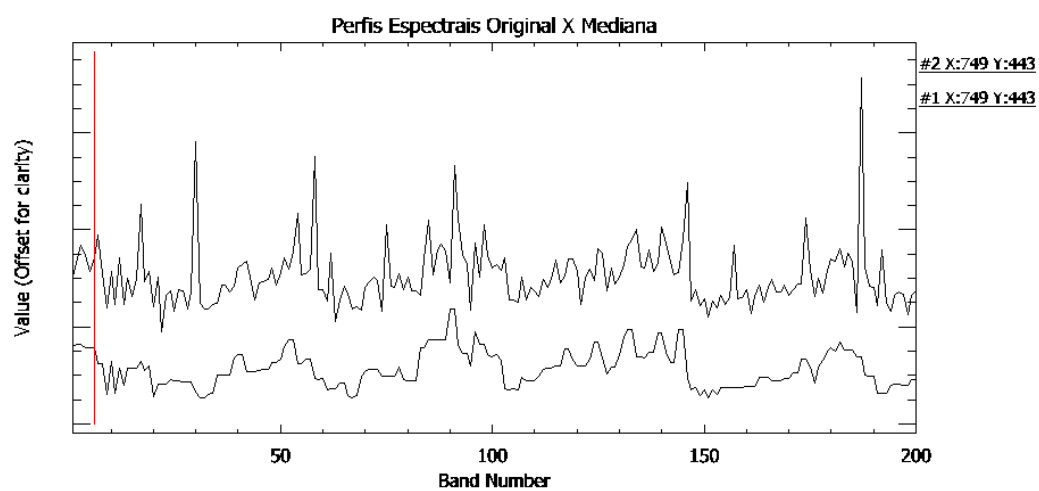
WOLFRE, NISHIHAMA M, FLEIG AJ, KUYPER JA, ROY DP, STOREY JC & PATT FS. 2002. **Achieving SubSub-Pixel geolocation accuracy in Support of MODIS Land Science. In:** Remote Sensing of Environment V. 83. p 31-49. 2002.



**Figura 1** – Mapa de Localização da área de estudo, com uma das imagens sobreposta.

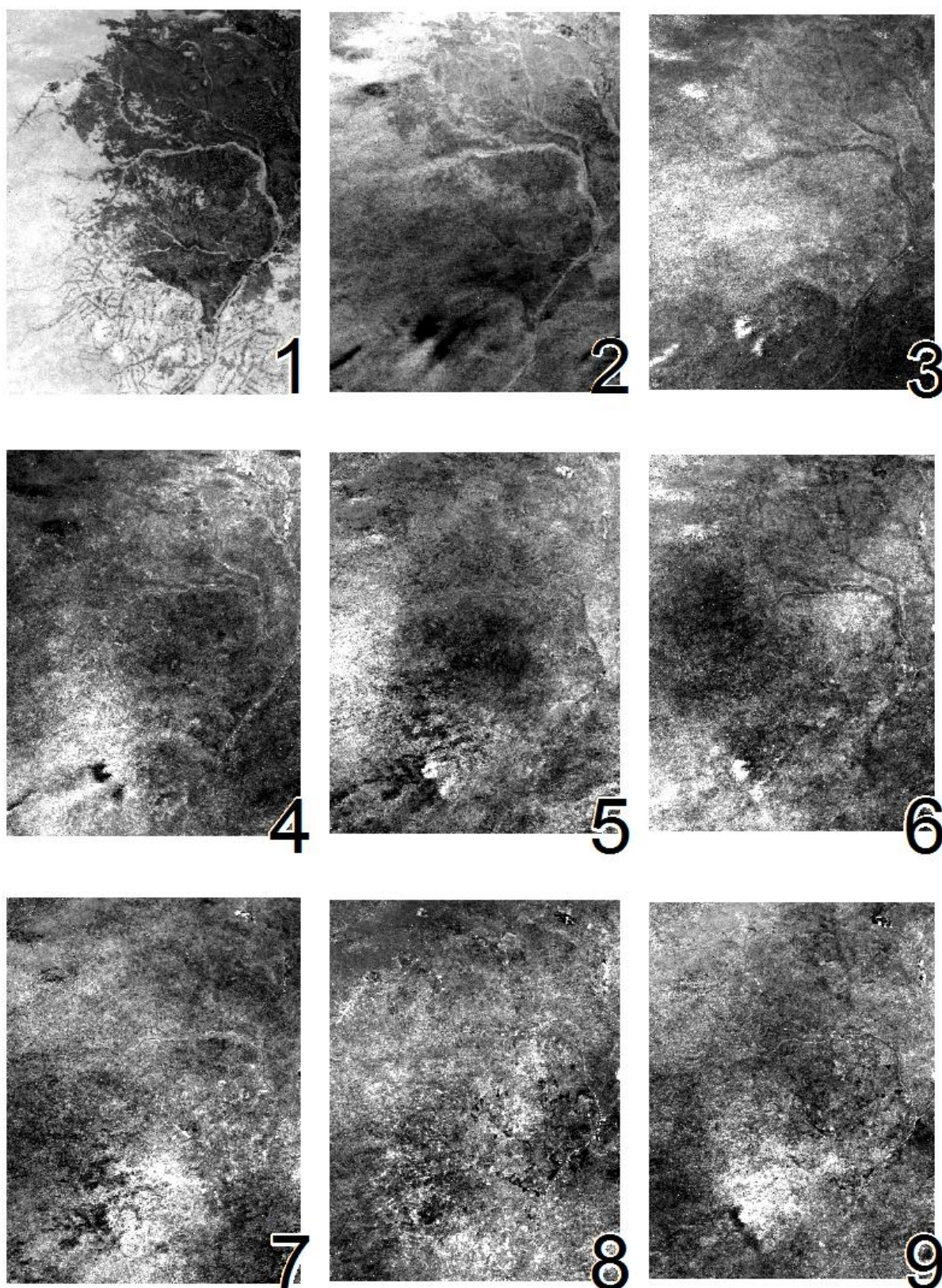


**Figura 2** – Representação visual do cubo 4D, a quarta dimensão corresponde ao perfil espectral da sequência imagens.



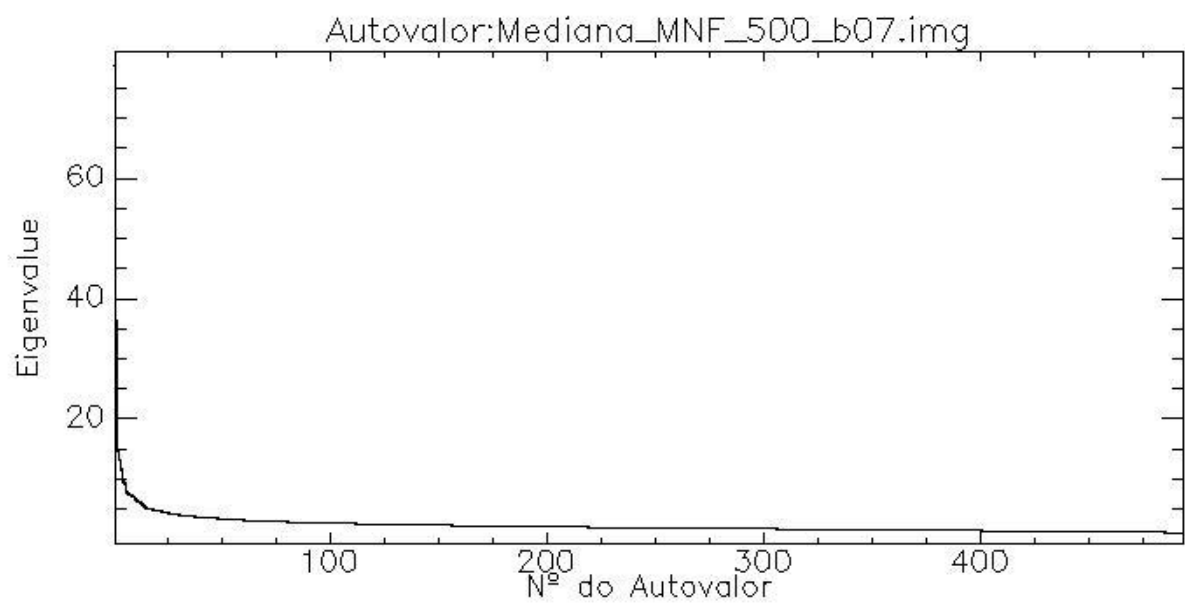
**Figura 3** – Tratamento dos espectros temporais utilizando filtragem por mediana para as diferentes bandas do sensor MODIS, exemplo com a banda 9.



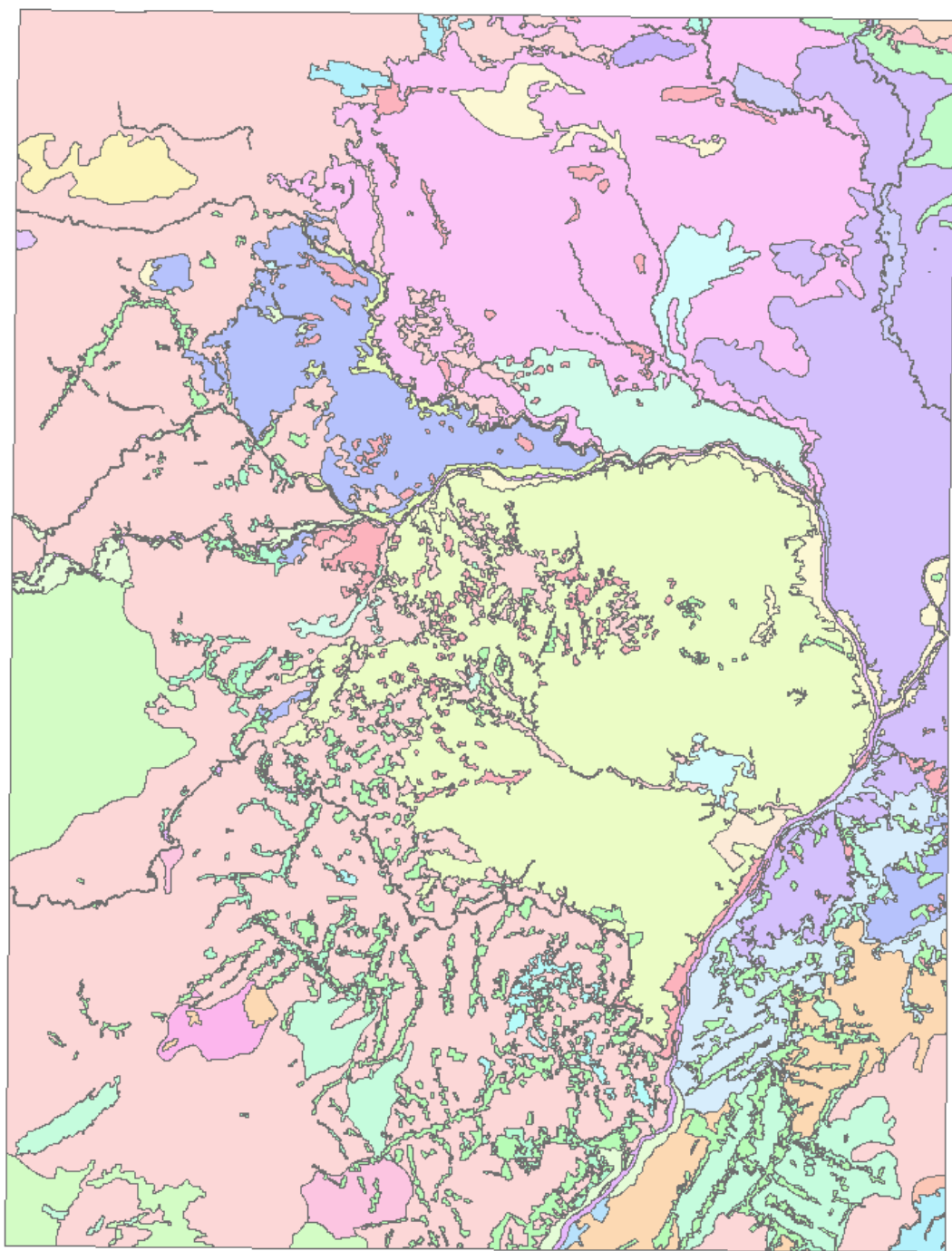


**Figura 4** – Demonstração do aumento do ruído ao longo das componentes MNF. Exemplificação com o cubo da banda 7, pixel de 500m.





**Figura 5** – Gráfico dos autovalores do MNF demonstrado a importância relativa das componentes em um dos cubos.



**Figura 6** –Base do PROBIO.

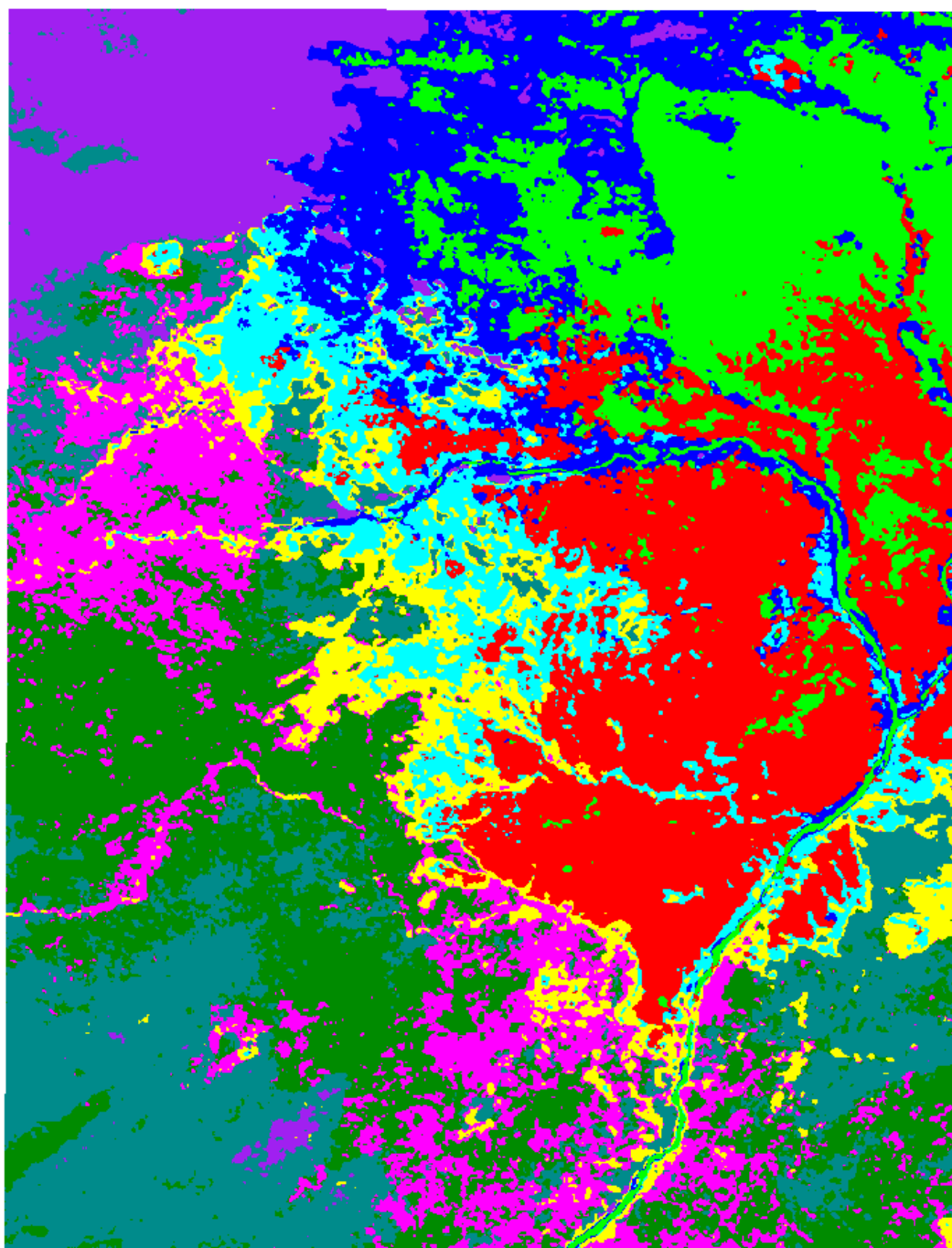


Figura 7 – Resultado da classificação k-means com 9 classes.